

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 757 720

②① N° d'enregistrement national : 96 15635

⑤① Int.Cl⁶ : H 04 B 10/18

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 19.12.96.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : 26.06.98 Bulletin 98/26.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : ALCATEL ALSTHOM COMPAGNIE
GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ SOCIÉTÉ ANONYME
— FR.

⑦② Inventeur(s) : CORTES PIERRE YVES et CHBAT
MICHEL.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire : ALCATEL ALSTHOM RECHERCHE.

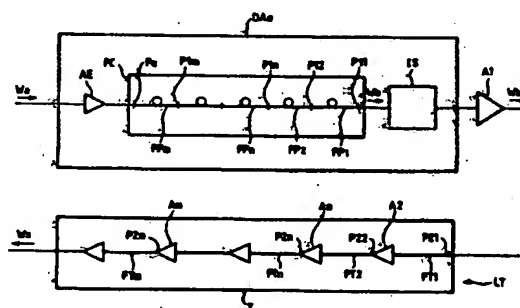
⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION D'UN DISPOSITIF D'ADAPTATION POUR LIAISON DE COMMUNICATION
OPTIQUE.

⑤⑦ Le dispositif d'adaptation (DAe) comporte une section
de compensation (PC) reliée à un inverseur spectral (IS).
L'inverseur (IS) est relié à une section de transmission (T)
formée de plusieurs segments de fibre de transmission
(FT1-FTm) successifs couplés entre eux par l'intermédiaire
d'amplificateurs optiques (A2-Am).

Pour réaliser une section de compensation (PC) qui cor-
rige à la fois la dispersion chromatique et les non-linéarités,
on couple bout à bout plusieurs segments de fibre dispersi-
ves (FP1-FPm) associés respectivement aux segments de
transmission (FT1-FTm).

Selon le procédé, on tient compte des paramètres opti-
ques des segments de transmission (FT1-FTm) et de leurs
puissances optiques d'entrée (P21-P2m) pour dimension-
ner les segments de compensation (FP1-FPm).

Application, notamment, pour les liaisons à longue dis-
tance de type transocéanique.



FR 2 757 720 - A1



BEST AVAILABLE COPY

Procédé de fabrication d'un dispositif d'adaptation pour
liaison de communication optique

L'invention se situe dans le domaine des transmissions utilisant des liaisons optiques et plus particulièrement des
5 liaisons à longue distance de type transocéanique.

La performance d'un système de transmission optique, notamment en termes de qualité de signal et de débit, est limitée par les propriétés optiques des liaisons qui créent des phénomènes physiques ayant pour effet de dégrader les
10 signaux optiques. Ces phénomènes sont notamment la dispersion chromatique et la non-linéarité dans les fibres utilisées pour réaliser la liaison, ainsi que l'atténuation de la puissance optique dans les fibres et dans certains composants utilisés le long des lignes.

15 On connaît cependant des moyens pour remédier au moins partiellement aux dégradations que ces phénomènes entraînent. Ainsi, l'atténuation dans les fibres peut être compensée au moyen d'amplificateurs disposés en amont ou en aval ou tout au long des liaisons. Une autre technique
20 connue, appelée "inversion spectrale" ou "conjugaison de phase" peut être avantageusement utilisée pour corriger les effets de la dispersion chromatique ainsi que les non-linéarités dues à l'effet Kerr (dépendance linéaire des variations de l'indice d'un milieu à l'égard des variations
25 d'intensité lumineuse).

Le principe de compensation utilisant l'inversion spectrale est décrit dans l'article : "Compensation for channel dispersion by nonlinear optical phase conjugation", Amnon Yariv et al., OPTICS LETTERS, Vol. 4, N° 2, février
30 1979. Les conditions à satisfaire pour que l'inversion spectrale corrige à la fois la dispersion chromatique et les non-linéarités ont été exposées par S. Watanabe dans l'article : "Exact Compensation for both Chromatic Dispersion and Kerr Effect in a Transmission Fiber Using

Optical Phase Conjugation", Journal of Lightwave Technology, vol. 14, n°3, mars 1996.

En pratique, on doit réaliser un dispositif d'adaptation placé par exemple dans l'émetteur de façon à précompenser la dispersion chromatique et éventuellement les effets non-linéaires dans la liaison optique. Pour cela, on peut utiliser une fibre dispersive dont une extrémité reçoit le signal à émettre et dont l'autre extrémité est reliée à l'entrée d'un inverseur spectral. La sortie de l'inverseur spectral est reliée à la liaison de transmission.

Dans le cas où l'on cherche seulement à précompenser la dispersion chromatique, il suffit que la fibre dispersive ait une longueur et des caractéristiques de dispersion telles que la dispersion cumulée le long de cette fibre soit égale à celle créée le long de la liaison optique.

Cette condition peut aussi s'exprimer mathématiquement par la formule :

$$(1) \quad \int D_1(z_1) \cdot dz_1 = \int D_2(z_2) \cdot dz_2$$

où z_1 et z_2 sont les abscisses de points placés respectivement le long de la fibre dispersive et le long de la liaison associée, D_1 et D_2 sont les paramètres de dispersion chromatique respectivement aux abscisses z_1 et z_2 de la fibre dispersive et de la liaison, les intégrales qui expriment les dispersions cumulées étant calculées respectivement le long de la fibre dispersive et le long de la liaison associée en prenant comme sens positif le sens de propagation des ondes.

Nous rappelons que le paramètre de dispersion D est lié à la constante de propagation β par la relation :

$$d^2\beta/d\omega^2 = -(2\pi c/\omega^2)D$$

où ω est la pulsation de l'onde et c la vitesse de la lumière dans le vide.

Pour pouvoir compenser aussi les phénomènes de non-linéarité, il convient de prévoir à l'entrée de la fibre dispersive un amplificateur optique dont le gain doit être ajusté et suffisamment élevé. Il faut aussi déterminer la
 5 longueur de la fibre et ses caractéristiques optiques de façon à ce que les décalages de phase non-linéaires cumulés respectivement dans cette fibre et dans la liaison optique associée soient égales.

Cette autre condition peut s'exprimer mathématiquement
 10 par la formule :

$$(2) \quad \int \gamma_1(z_1) \cdot P_1(z_1) \cdot dz_1 = \int \gamma_2(z_2) \cdot P_2(z_2) \cdot dz_2 ,$$

où $\gamma_1(z_1)$ et $\gamma_2(z_2)$ sont les coefficients de non-linéarité
 15 respectivement aux abscisses z_1 et z_2 de la fibre dispersive et de la liaison, $P_1(z_1)$ et $P_2(z_2)$ sont les puissances optiques respectivement aux abscisses z_1 et z_2 de la fibre dispersive et de la liaison, les intégrales qui expriment les décalages de phase non-linéaires cumulés étant calculées
 20 respectivement le long de la fibre dispersive et le long de la liaison associée en prenant comme sens positif le sens de propagation des ondes.

Si on peut négliger les atténuations dans les fibres, les puissances $P_1(z_1)$ et $P_2(z_2)$ prennent des valeurs P_1 et P_2
 25 indépendantes des abscisses z_1 et z_2 et la fibre dispersive sera homogène. Dans ce cas, les formules (1) et (2) s'écrivent respectivement :

$$(3) \quad L_1 \cdot d^2\beta_1/d\omega^2 = L_2 \cdot d^2\beta_2/d\omega^2 ,$$

30

$$(4) \quad L_1 \cdot \gamma_1 \cdot P_1 = L_2 \cdot \gamma_2 \cdot P_2 ,$$

où L_1 et L_2 sont respectivement les longueurs de la fibre dispersive et de la liaison, β_1 et β_2 étant respectivement
 35 les constantes de propagation de la fibre dispersive et de la liaison.

Une amélioration de l'approximation précédente consiste à tenir compte de l'atténuation dans la fibre dispersive. Pour cela la fibre dispersive peut être constituées de plusieurs segments de même longueur placés
5 bout à bout et ayant des paramètres de dispersion décroissants en valeur absolue dans le sens de propagation des ondes transmises.

Toutefois, les approximations précédentes ne sont plus satisfaisantes dans le cas des liaisons à longue distance.
10 En effet, ces liaisons exigent des niveaux de puissance élevés tels que l'atténuation dans celles-ci n'est plus négligeable. De plus, il faut tenir compte du fait qu'elles comportent des amplificateurs optiques intercalés entre des segments de fibre.

15 L'invention a pour but de proposer un procédé de fabrication du dispositif d'adaptation qui tienne compte des contraintes précédentes et soit apte à s'adapter facilement à chaque cas particulier de liaison et de niveau de performance souhaité.

20 Dans ce but, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'un dispositif d'adaptation pour terminal d'émission destiné à être relié à une liaison optique comportant au moins une section de transmission formée de plusieurs segments de fibre de transmission successifs
25 couplés entre eux par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques, ledit procédé consistant notamment à réaliser au moins une section de précompensation associée à ladite section de transmission en couplant bout à bout plusieurs segments de fibre de précompensation et à relier ladite
30 section de précompensation à ladite liaison optique par l'intermédiaire d'un inverseur spectral, ledit procédé étant caractérisé en ce que lesdits segments de transmission étant destinés à recevoir respectivement des puissances optiques moyennes d'entrée de valeurs déterminées, on effectue les
35 étapes suivantes :

- a)- on associe lesdits segments de transmission respectivement à des segments de précompensation,
- b)- on associe tout point de chaque segment de transmission
5 à un point du segment de précompensation associé de sorte que le décalage de phase non-linéaire cumulé entre l'entrée et chaque point dudit segment de transmission soit égal au décalage de phase non-linéaire cumulé entre ledit point associé et la sortie dudit segment de précompensation
10 associé,
- c)- on calcule la longueur et les paramètres optiques que devrait avoir chaque segment de précompensation pour que la dispersion chromatique cumulée entre l'entrée et chaque
15 point dudit segment de transmission soit égale à la dispersion chromatique cumulée entre ledit point associé et la sortie dudit segment de précompensation associé, ledit calcul étant effectué en fonction de la longueur, des paramètres optiques et de ladite valeur de puissance optique
20 moyenne d'entrée dudit segment de transmission associé et en fonction d'une valeur donnée de puissance optique moyenne présente à l'une des extrémités de ladite section de précompensation,
- 25 d)- on assemble ladite section de précompensation en utilisant comme segments de précompensation des segments de fibre ayant respectivement des longueurs égales auxdites longueurs calculées et des paramètres optiques égaux auxdits paramètres optiques calculés ou au moins approchant ceux-ci,
30
- e)- on place à l'entrée de ladite section de précompensation un amplificateur optique d'entrée dont le gain est ajustable de sorte que ladite puissance optique moyenne présente à ladite extrémité de la section de précompensation puisse
35 prendre ladite valeur donnée.

Selon un cas particulier visant à simplifier les calculs, on se donne les paramètres optiques des segments de précompensation (coefficients de non-linéarité et d'atténuation) à l'exception de leurs paramètres de dispersion chromatique qui sont alors calculés comme indiqué ci-dessus.

Selon une première possibilité assurant en principe une parfaite compensation des effets Kerr et de la dispersion chromatique dans l'un au moins des segments de précompensation, celui-ci est réalisé au moyen d'un segment de fibre ayant un paramètre de dispersion chromatique continûment variable le long dudit segment.

Cette solution peut actuellement être mise en oeuvre au moyen de procédés spéciaux de fabrication de fibres de ce type. Toutefois, pour éviter de recourir à ces procédés ou bien dans le cas où la valeur maximale du paramètre de dispersion chromatique serait trop élevée pour permettre la réalisation, on pourra prévoir que l'un au moins desdits segments de précompensation est constitué d'un segment de fibre homogène dont le paramètre de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs calculées du paramètre de dispersion chromatique le long dudit segment.

Cette dernière possibilité constitue une solution approchée pour compenser les effets Kerr. Par contre, la compensation parfaite de la dispersion chromatique reste acquise.

On peut simplifier davantage la réalisation en prévoyant que plusieurs segments de précompensation consécutifs sont constitués d'un seul segment de fibre homogène dont la longueur est égale à la somme des longueurs desdits segments consécutifs et dont le paramètre de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs calculées du paramètre de dispersion chromatique le long desdits segments consécutifs.

Bien que théoriquement approximative, cette solution peut s'avérer suffisante en pratique dans le cas où la

puissance optique d'entrée des segments de transmission est modérée.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un dispositif d'adaptation pour terminal de
5 réception. Le procédé est analogue à celui du terminal d'émission.

L'invention concerne également un dispositif d'adaptation pour terminal d'émission et/ou de réception, réalisé au moyen du procédé selon l'invention, ainsi qu'un
10 système de transmission constitués d'une liaison optique et de terminaux d'émission et de réception qui comportent chacun un dispositif d'adaptation selon l'invention.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront dans la suite de la description en référence
15 aux figures.

- La figure 1 représente un système de transmission comprenant un dispositif d'adaptation d'émission réalisé conformément à l'invention.

- La figure 2 est un schéma servant à expliquer la
20 méthode de calcul des paramètres optiques des segments de fibre de précompensation.

- Les figures 3 et 4 sont des graphes représentant les variations de la dispersion chromatique le long de la section de précompensation selon deux variantes possibles.

25 - La figure 5 représente un système de transmission comportant plusieurs sections de transmission et plusieurs sections de précompensation.

- La figure 6 représente un système de transmission comprenant un dispositif d'adaptation de réception réalisé
30 conformément à l'invention.

- La figure 7 représente un système de transmission comprenant un dispositif d'adaptation d'émission et un dispositif d'adaptation de réception réalisés conformément à l'invention.

- La figure 8 montre un exemple de réalisation d'un inverseur spectral utilisable pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Un premier exemple de système de transmission est représenté à la figure 1. Il comporte une liaison optique LT constituée ici d'une seule section de transmission T. La liaison LT est reliée par l'intermédiaire d'un amplificateur optique A1 à un dispositif d'adaptation d'émission DAe qui constitue le dernier étage d'un terminal d'émission non représenté en détail. Le dispositif d'adaptation d'émission DAe reçoit un signal optique d'entrée Wa ayant par exemple la forme d'une modulation d'amplitude d'une porteuse optique. Ce peut être aussi un multiplex de longueurs d'onde. Le dispositif DAe fournit après amplification par l'amplificateur A1 l'onde précompensée Wb qui est appliquée à l'entrée de la section de transmission T.

La section de transmission T est constituée de m segments de fibre de transmission FT1, FT2, FTn, FTm couplés entre eux par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques A2, An, Am. Les amplificateurs A1, A2, An, Am sont prévus pour fournir aux entrées des segments FT1, FT2, FTn, FTm des puissances optiques moyennes P21, P22, P2n, P2m bien définies.

Le dispositif d'adaptation DAe comporte une section de précompensation PC dont une extrémité reçoit le signal optique d'entrée Wa par l'intermédiaire d'un amplificateur optique d'entrée AE. L'autre extrémité de la section PC qui fournit l'onde Wb est reliée à l'entrée de l'amplificateur A1 par l'intermédiaire d'un inverseur spectral IS.

La section de précompensation PC est constituée de m segments de précompensation FP1, FP2, FPn, FPM constitués chacun d'une fibre dispersive. Les segments de précompensation FP1-FPM sont associés respectivement aux segments de transmission FT1-FTm de la section de transmission T selon l'ordre représenté sur la figure, c'est-à-dire tel que l'indice n identifiant les segments de

précompensation et de transmission associés soit croissant dans le sens de la propagation des ondes pour les segments de transmission et décroissant pour les segments de précompensation.

5 Les références P_{11} , P_{12} , P_{1n} , P_{1m} désignent les puissances optiques moyennes en sorties des segments de précompensation FP_1 , FP_2 , FP_n , FP_m . La puissance P_{11} en sortie du segment FP_1 constitue donc la puissance optique moyenne de sortie de la section de précompensation PC. Comme
10 nous le verrons ultérieurement, la valeur de cette puissance est une donnée importante qui conditionne le dimensionnement des segments de précompensation.

Afin de faciliter les explications sur la méthode de calcul des paramètres optiques des fibres de
15 précompensation, il convient de se reporter à la figure 2 qui indique les conventions utilisées et montre les variations des puissances optiques P_1 et P_2 le long respectivement des sections de précompensation PC et de transmission T.

20 L'axe Oz est orienté dans le sens de propagation des ondes et l'origine O correspond à la fois à la sortie de la section de précompensation PC et à l'entrée de la section de transmission T. Ainsi, les valeurs positives z_2 de l'abscisse z correspondent à des points situés sur le
25 segment de transmission T apparaissant sur la partie supérieure droite de la figure tandis que les valeurs négatives z_1 correspondent à des points situés sur la section de précompensation PC apparaissant sur la partie inférieure gauche de la figure.

30 La figure 2 montre plus particulièrement les variations des puissances P_1 et P_2 respectivement dans deux segments successifs de précompensation FP_n , $FP_{(n+1)}$ et dans deux segments de transmission successifs associés FT_n , $FT_{(n+1)}$. L_{1n} et L_{2n} désignent respectivement les longueurs
35 des segments FP_n et FT_n .

Pour précompenser parfaitement les effets de dispersion chromatique et de non-linéarité dans la liaison, il convient de déterminer les paramètres optiques des fibres constituant les segments de précompensation de façon à ce que les équations (1) et (2) indiquées précédemment soient vérifiées simultanément. Pour cela, on associe chaque point d'abscisse z_2 positive de chaque segment de transmission à un point d'abscisse z_1 négative du segment de précompensation associé, de façon à vérifier :

$$(5) \quad D_1(z_1) \cdot dz_1 = D_2(z_2) \cdot dz_2$$

$$(6) \quad \gamma_1(z_1) \cdot P_1(z_1) \cdot dz_1 = \gamma_2(z_2) \cdot P_2(z_2) \cdot dz_2,$$

15 ou bien :

$$(5') \quad \int_{z_1}^0 D_1(z) \cdot dz = \int_0^{z_2} D_2(z) \cdot dz$$

$$(6') \quad \Delta\phi_1 = \int_{z_1}^0 \gamma_1(z) \cdot P_1(z) \cdot dz = \Delta\phi_2 = \int_0^{z_2} \gamma_2(z) \cdot P_2(z) \cdot dz,$$

20

$\Delta\phi_1$ et $\Delta\phi_2$ étant les décalages de phase non-linéaires cumulés respectivement le long de la section de précompensation PC et le long de la section de transmission T, respectivement sur les intervalles z_1 0 et 0 z_2 .

25

Connaissant α_1 et α_2 les coefficients d'atténuation respectivement du segment de précompensation FP_n et du segment de transmission FT_n associé, les puissances P_1 et P_2 sont données par :

30

$$(7) \quad P_1(z_1) = P_{1n} \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot z_1),$$

$$(8) \quad P_2(z_2) = P_{2n} \cdot \exp(-\alpha_2 \cdot z_2),$$

où P_{1n} et P_{2n} sont respectivement les puissances moyennes à la sortie du segment FP_n et à l'entrée du segment FT_n .

En posant :

$$(9) \quad R_n = (\alpha_1/\alpha_2) (\gamma_2/\gamma_1) (P_{2n}/P_{1n}),$$

γ_1 et γ_2 étant les coefficients de non-linéarité respectivement des segments FP_n et FT_n , on déduit de (6'), (7) et (8) :

$$(10) \quad z_1 = -(1/\alpha_1) \text{Log}\{1 + R_n - R_n \exp(-\alpha_2 \cdot z_2)\}$$

et, en tenant compte de (5) :

$$(11) \quad D_1(z_1) = D_2(z_2) \cdot (\alpha_1/\alpha_2) / [1 + R_n \exp(\alpha_1 \cdot z_1) - 1]$$

Enfin, en posant :

$$(12) \quad B_n = R_n [1 - \exp(-\alpha_2 \cdot L_{2n})],$$

la longueur totale du segment FP_n sera donnée par :

$$(13) \quad L_{1n} = (1/\alpha_1) \text{Log}(1 + B_n)$$

On en déduit la puissance $P_{1(n+1)}$ à la sortie du segment suivant $FP(n+1)$:

$$(14) \quad P_{1(n+1)} = P_{1n}(1 + B_n)$$

Ainsi, ayant déterminé la puissance $P_{1(n+1)}$ à la sortie du segment $FP(n+1)$ et connaissant $P_{2(n+1)}$, on peut de la même façon calculer pour ce segment $P_1(z_1)$, $D_1(z_1)$ et $L_{1(n+1)}$ à l'aide des équations (7), (9), (11), (12) et (13) en remplaçant l'indice n par $n+1$.

Connaissant d'autre part la valeur de puissance P_{11} imposée à la sortie de la section de précompensation PC, on

peut donc déterminer successivement les fonctions $D_1(z_1)$ pour les segments FP_1 à F_{P_m} ainsi que leurs longueurs L_{11} à L_{1m} . Ces données servent pour la fabrication des segments de précompensation qui sont ensuite assemblés selon l'ordre requis pour constituer la section de précompensation PC.

L'amplificateur AE qui est alors placé à l'entrée de la section PC est choisi de façon à pouvoir ajuster son gain pour que la puissance de sortie P_{11} prenne la valeur imposée ayant servi au calcul précédent.

On peut noter qu'un calcul analogue pourrait être effectué à partir de la connaissance des puissances de sortie des segments de transmission (calculables en fonction de leurs puissances d'entrée, de leurs longueurs et de leurs coefficients d'atténuation) et de la puissance d'entrée P_e de la section de précompensation PC.

D'autre part, la méthode précédente n'est pas seulement applicable dans le cas où les coefficients d'atténuation et de non-linéarité peuvent être considérés comme constants. Il suffit en effet de connaître la répartition de ces paramètres tout au long des segments pour déterminer d'après (6) la relation qui lie les abscisses z_1 et z_2 des points associés.

En pratique, on se trouve souvent dans le cas particulier où les segments de transmission ont une même longueur Z_a et où les puissances d'entrée P_{21} , P_{2n} , P_{2m} de ces segments sont égales. Dans ce cas, en posant :

$$(15) \quad B = (\alpha_1/\alpha_2) (\gamma_2/\gamma_1) (P_{21}/P_{11}) \{1 - \exp(-\alpha_2 z_2)\},$$

on obtient :

$$(16) \quad L_{1n} = (1/\alpha_1) \text{Log}[(1 + nB) / (1 + (n-1)B)].$$

A titre d'illustration, nous allons donner un exemple de résultats obtenus dans le cas d'une liaison de 1000 km constituée de 20 segments d'égale longueur $Z_a = 50$ km. Les

paramètres optiques des fibres utilisées pour la liaison sont :

5 $\alpha_2 = 0,216 \text{ dB/km}$
 $\gamma_2 = 2,5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$
 $D_2 = -0,22 \text{ ps/nm/km}$

Les paramètres optiques choisis pour les fibres de précompensation sont :

10 $\alpha_1 = 0,6 \text{ dB/km}$
 $\gamma_1 = 18 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$

Les valeurs des puissances d'entrée P21 des segments de transmission et de sortie P11 des segments de précompensation sont données par :

15 $P_{21} = 6,0 \text{ dBm}$
 $P_{11} = 7,0 \text{ dBm}$

20 La figure 3 représente les valeurs de la dispersion D1 des 20 segments de précompensation associés respectivement aux 20 segments de transmission. La courbe montre également pour chaque segment la moyenne D11, D21 des valeurs
25 calculées du paramètre de dispersion le long du segment.

En pratique, les segments de précompensation peuvent être réalisés au moyen de fibres à dispersion continûment variable. Toutefois, pour des raisons pratiques telles que la difficulté d'obtenir des valeurs de dispersion très
30 élevées en valeur absolue, on pourra utiliser pour certains segments des fibres homogènes dont la valeur de dispersion est égale à la valeur moyenne calculées pour les segments considérés.

La figure 4 représente à une autre échelle les valeurs
35 moyennes de la dispersion des différents segments. Elle représente aussi en traits plus fin les moyennes M1-4, M5-8,

M9-12, M13-16, M17-20 des valeurs calculées de la dispersion le long de 4 segments consécutifs. Ainsi, pour une réalisation simplifiée, on pourra utiliser un seul segment de fibre homogène à la place de 4 segments consécutifs. Ce
5 segment de fibre homogène aura une longueur égale à la somme des longueurs des segments qu'il remplace et un paramètre de dispersion égal à la valeur moyenne calculée pour ces 4 segments.

La figure 5 illustre le cas où la liaison optique LT
10 est considérée comme constituée de plusieurs sections T, T', T'' que l'on associe respectivement à plusieurs sections de précompensation PC, PC', PC'' du dispositif d'adaptation DAE. Les sections de transmission et de précompensation sont associées dans l'ordre indiqué sur la figure, un
15 amplificateur optique AE, AE', AE'' étant disposé en amont de chaque section de précompensation. Le dimensionnement des fibres constituant chaque section de précompensation est réalisé conformément à la méthode exposée précédemment. Le fait de prévoir plusieurs sections de précompensation à la
20 place d'une seule permet d'éviter le problème de réaliser des fibres dont les paramètres de dispersion chromatique calculés seraient trop élevés en valeur absolue.

L'invention peut également s'appliquer à un dispositif d'adaptation situé dans un terminal de réception. Ce cas est
25 illustré à la figure 6 qui montre la section de transmission T précédente disposée en amont d'un dispositif d'adaptation de réception DAr, lequel constitue le premier étage d'un terminal de réception non représenté en détail.

Ainsi, l'extrémité de sortie de la section de
30 transmission T est couplée à l'entrée d'un inverseur spectral IS' dont la sortie est reliée à la section de compensation C par l'intermédiaire d'un amplificateur AR. La section de compensation C est constituée des segments de compensation successifs FC1, FC2, FCn, FCm associés
35 respectivement aux segments de transmission FT1, FT2, FTn, FTm selon l'ordre indiqué sur la figure.

Le dimensionnement des segments de compensation FCn est effectué de la même façon que dans le cas d'un dispositif d'adaptation d'émission. Les équations données précédemment sont également applicables après avoir remplacé
5 z1 par -z1 et z2 par -z2 pour adapter la convention illustrée par la figure 2 à la permutation des positions respectives des sections de transmission et de compensation.

La figure 7 illustre une autre variante d'utilisation du procédé selon l'invention. Selon cette variante, on
10 trouve successivement, en suivant le sens de propagation des ondes, un dispositif d'adaptation d'émission DAe d'un terminal d'émission, une première section de transmission T, une seconde section de transmission T' et un dispositif d'adaptation de réception DAR situé dans un terminal de
15 réception. La première section de transmission T est alors associée à la section de précompensation PC tandis que la seconde section de transmission T' est associée à la section de compensation C.

Le dimensionnement des segments de précompensation et
20 de compensation peut être effectué selon la méthode indiquée précédemment.

Bien entendu, chaque segment T ou T' peut être considéré comme formé de plusieurs segments successifs. Le dispositif d'adaptation d'émission DAe ou de réception DAR
25 correspondant serait alors formé de plusieurs sections reliées entre elles par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques, comme déjà exposé précédemment en référence à la figure 5.

La figure 8 montre une réalisation possible de
30 l'inverseur spectral IS utilisable notamment dans le cas où le signal transmis est un multiplex de longueurs d'onde Wb. L'inverseur IS est essentiellement constitué d'un amplificateur optique semi-conducteur OA alimenté par un courant de pompage I et d'un filtre F placé en sortie de
35 l'amplificateur. Au moyen du coupleur C1 et du coupleur de polarisation C2, le milieu amplificateur de l'amplificateur

OA reçoit les composantes spectrales du multiplex W_b et deux ondes de pompe fournies par deux sources laser LP1 et LP2. Les deux sources laser LP1 et LP2 fournissent des ondes à polarisation croisées de pulsations ω_1 et ω_2 .
5 L'amplificateur OA fournit alors une onde W_c contenant les composantes spectrales conjuguées $\lambda_1^* - \lambda_n^*$ des composantes spectrales $\lambda_1 - \lambda_n$ du multiplex W_b et, pour chaque composante spectrale de pulsation ω_s du multiplex W_b , l'onde W_c contient une composante spectrale conjuguée de pulsation ω_c
10 vérifiant la relation : $\omega_1 + \omega_2 - \omega_s = \omega_c$.

Ainsi, le filtre F est prévu pour laisser passer l'ensemble des longueurs d'onde des composantes spectrales conjuguées $\lambda_1^* - \lambda_n^*$ et rejeter les longueurs d'onde des deux ondes de pompe et des composantes spectrales $\lambda_1 - \lambda_n$ du
15 multiplex W_b . Il en résulte en pratique que les longueurs d'onde des ondes de pompe doivent se trouver à l'extérieur de la bande du multiplex d'entrée.

En variante, l'inversion spectrale peut être effectuée au moyen d'une fibre à dispersion décalée, de préférence
20 choisie de façon à présenter un paramètre de dispersion D nul pour une longueur d'onde égale à la moyenne des longueur d'ondes des composantes spectrales $\lambda_1 - \lambda_n$ du multiplex W_b et des composantes spectrales conjuguées $\lambda_1^* - \lambda_n^*$.

Revendications

- 1) Procédé de fabrication d'un dispositif d'adaptation (DAe) pour terminal d'émission destiné à être relié à une liaison optique (LT) comportant au moins une section de transmission
- 5 (T) formée de plusieurs segments de fibre de transmission (FT1-FTm) successifs couplés entre eux par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques (A2-Am), ledit procédé consistant notamment à réaliser au moins une section de précompensation (PC) associée à ladite section de transmission (T) en
- 10 couplant bout à bout plusieurs segments de fibre de précompensation (FP1-FPm) et à relier ladite section de précompensation (PC) à ladite liaison optique (LT) par l'intermédiaire d'un inverseur spectral (IS), ledit procédé étant caractérisé en ce que lesdits segments de transmission
- 15 (FT1-FTm) étant destinés à recevoir respectivement des puissances optiques moyennes d'entrée de valeurs déterminées (P21-P2m), on effectue les étapes suivantes :
- a)- on associe lesdits segments de transmission (FT1-FTm)
- 20 respectivement à des segments de précompensation (FP1-FPm),
- b)- on associe tout point (z2) de chaque segment de transmission (FTn) à un point (z1) du segment de précompensation (FPn) associé de sorte que le décalage de
- 25 phase non-linéaire cumulé entre l'entrée et chaque point dudit segment de transmission (FTn) soit égal au décalage de phase non-linéaire cumulé entre ledit point associé et la sortie dudit segment de précompensation (FPn) associé,
- 30 c)- on calcule la longueur (L1n) et les paramètres optiques que devrait avoir chaque segment de précompensation (FPn) pour que la dispersion chromatique cumulée entre l'entrée et chaque point dudit segment de transmission (FTn) soit égale à la dispersion chromatique cumulée entre ledit point
- 35 associé et la sortie dudit segment de précompensation (FPn) associé,

ledit calcul étant effectué en fonction de la longueur (L_{2n}), des paramètres optiques et de ladite valeur de puissance optique moyenne d'entrée (P_{21}) dudit segment de transmission (FT_n) associé et en fonction d'une valeur
5 donnée de puissance optique moyenne (P_e , P_{11}) présente à l'une des extrémités de ladite section de précompensation (PC),

d)- on assemble ladite section de précompensation (PC) en
10 utilisant comme segments de précompensation (FP_n) des segments de fibre ayant respectivement des longueurs égales auxdites longueurs calculées et des paramètres optiques égaux auxdits paramètres optiques calculés ou au moins approchant ceux-ci,

15

e)- on place à l'entrée de ladite section de précompensation (PC) un amplificateur optique d'entrée (AE) dont le gain est ajustable de sorte que ladite puissance optique moyenne (P_e , P_{11}) présente à ladite extrémité de la section de
20 précompensation (PC) puisse prendre ladite valeur donnée.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits paramètres optiques calculés des segments de précompensation (FP_n) sont leurs paramètres de dispersion
25 chromatique.

3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'un au moins desdits segments de précompensation (FP_n) est réalisé au moyen d'un segment de fibre ayant un paramètre de
30 dispersion chromatique continûment variable le long dudit segment.

4) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'un au moins desdits segments de précompensation (FP_n) est
35 constitué d'un segment de fibre homogène dont le paramètre de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs

calculées du paramètre de dispersion chromatique le long dudit segment.

- 5) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que
5 plusieurs segments de précompensation (FPn) consécutifs sont constitués d'un seul segment de fibre homogène dont la longueur est égale à la somme des longueurs desdits segments consécutifs et dont le paramètre de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs calculées du paramètre de
10 dispersion chromatique le long desdits segments consécutifs.
- 6) Procédé de fabrication d'un dispositif d'adaptation (DAR) pour terminal de réception destiné à être relié à une liaison optique (LT) comportant au moins une section de
15 transmission (T) formée de plusieurs segments de fibre de transmission (FT1-FTm) successifs couplés entre eux par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques (A2-Am), ledit procédé consistant notamment à réaliser au moins une section de compensation (C) associée à ladite section de
20 transmission (T) en couplant bout à bout plusieurs segments de fibre de compensation (FC1-FCm) et à relier ladite section de compensation (C) à ladite liaison optique (LT) par l'intermédiaire d'un inverseur spectral (IS), ledit procédé étant caractérisé en ce lesdits segments de
25 transmission (FT1-FTm) étant destinés à recevoir respectivement des puissances optiques moyennes d'entrée de valeurs déterminées (P21-P2m), on effectue les étapes suivantes :
- 30 a)- on associe lesdits segments de transmission (FT1-FTm) respectivement à des segments de compensation (FC1-FCm),
- b)- on associe tout point (z2) de chaque segment de transmission (FTn) à un point (z1) du segment de
35 compensation (FCn) associé de sorte que le décalage de phase non-linéaire cumulé entre l'entrée et chaque point dudit

segment de transmission (FCn) soit égal au décalage de phase non-linéaire cumulé entre ledit point associé et la sortie dudit segment de compensation (FCn) associé,

- 5 c)- on calcule la longueur (L1n) et les paramètres optiques que devrait avoir chaque segment de compensation (FCn) pour que la dispersion chromatique cumulée entre l'entrée et chaque point dudit segment de transmission (FTn) soit égale à la dispersion chromatique cumulée entre ledit point
10 associé et la sortie dudit segment de compensation (FCn) associé,

ledit calcul étant effectué en fonction de la longueur (L2n), des paramètres optiques et de ladite valeur de puissance optique moyenne d'entrée (P21) dudit segment de
15 transmission (FTn) associé et en fonction d'une valeur donnée de puissance optique moyenne (Pe, P11) présente à l'une des extrémités de ladite section de compensation (C),

- d)- on assemble ladite section de précompensation (C) en
20 utilisant comme segments de compensation (FCn) des segments de fibre ayant respectivement des longueurs égales auxdites longueurs calculées et des paramètres optiques égaux auxdits paramètres optiques calculés ou au moins approchant ceux-ci,

- 25 e)- on place à l'entrée de ladite section de compensation (C) un amplificateur optique d'entrée (AR) dont le gain est ajustable de sorte que ladite puissance optique moyenne (Pe, P11) présente à ladite extrémité de la section de compensation (C) puisse prendre ladite valeur donnée.

30

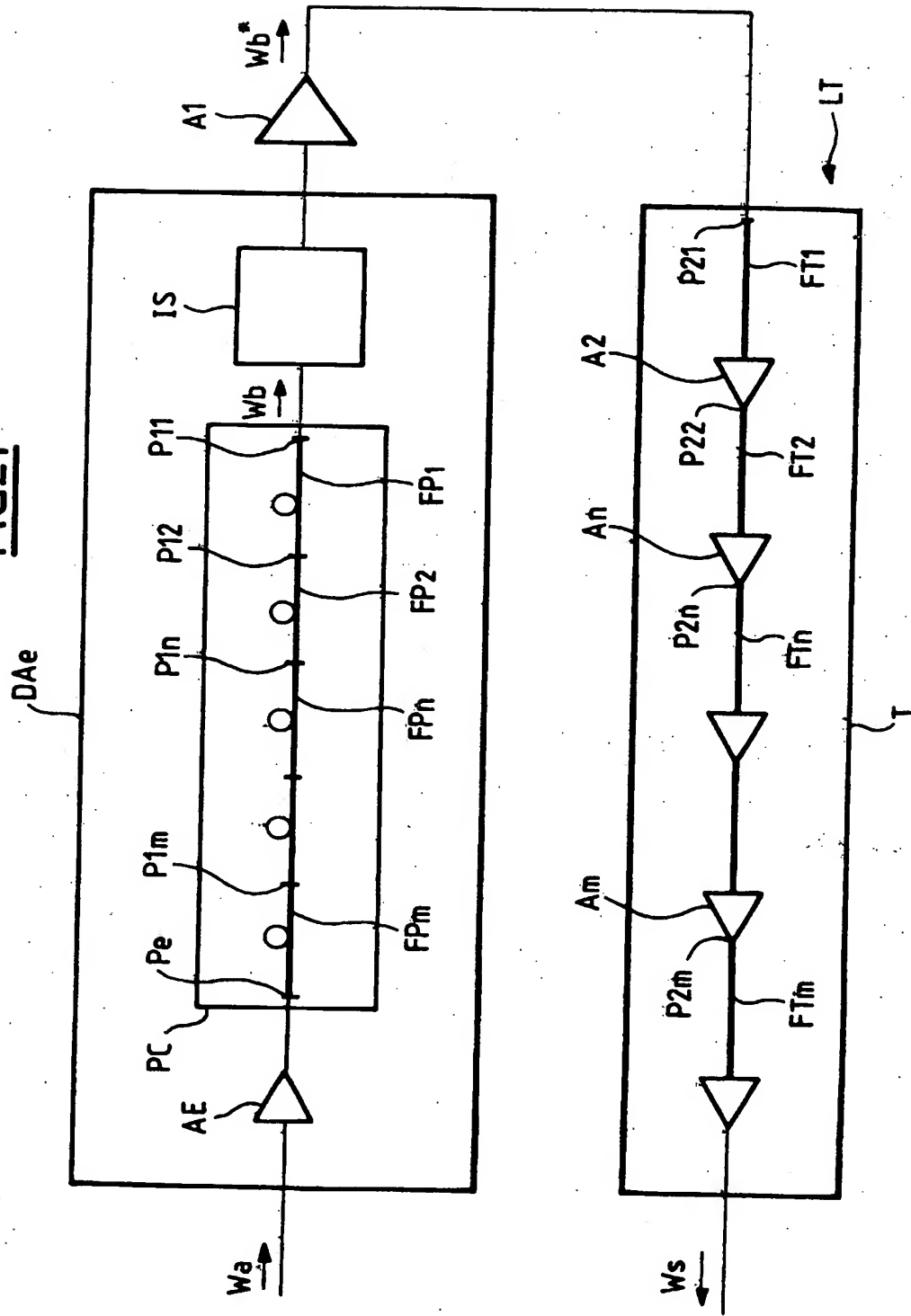
7) Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits paramètres optiques calculés des segments de compensation (FCn) sont leurs paramètres de dispersion chromatique.

35

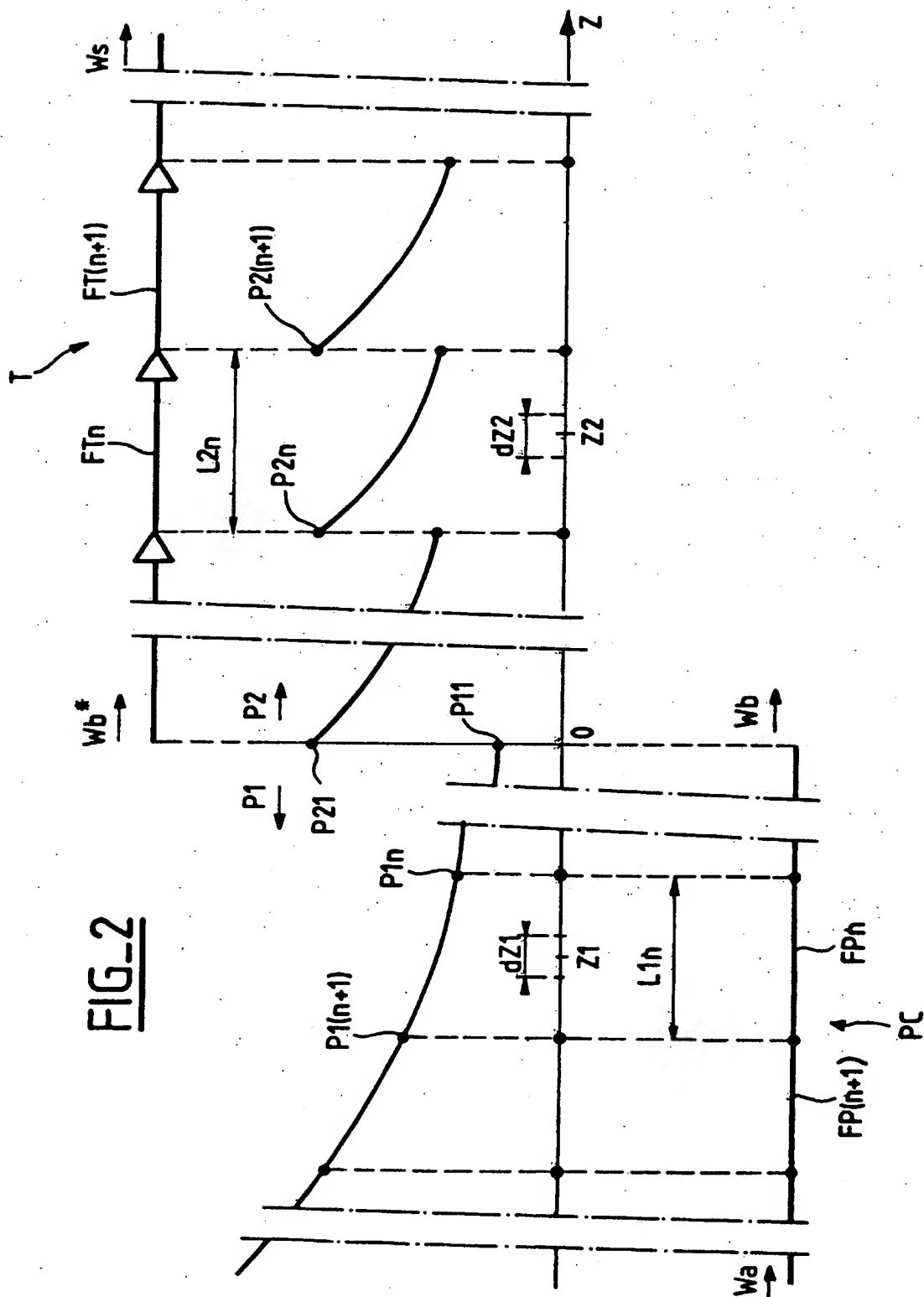
- 8) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'un au moins desdits segments de compensation (FCn) est réalisé au moyen d'un segment de fibre ayant un paramètre de dispersion chromatique continûment variable le long dudit
5 segment.
- 9) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'un au moins desdits segments de compensation (FCn) est constitué d'un segment de fibre homogène dont le paramètre
10 de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs calculées du paramètre de dispersion chromatique le long dudit segment.
- 10) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que
15 plusieurs segments de compensation (FCn) consécutifs sont constitués d'un seul segment de fibre homogène dont la longueur est égale à la somme des longueurs desdits segments consécutifs et dont le paramètre de dispersion chromatique est égal à la moyenne des valeurs calculées du paramètre de
20 dispersion chromatique le long desdits segments consécutifs.
- 11) Dispositif d'adaptation (DAe) pour terminal d'émission, caractérisé en ce qu'il est réalisé au moyen du procédé selon l'une des revendications 1 à 5.
25
- 12) Dispositif d'adaptation (DAr) pour terminal de réception, caractérisé en ce qu'il est réalisé au moyen du procédé selon l'une des revendications 6 à 10.
- 13) Système de transmission comportant un terminal d'émission et un terminal de réception reliés par une liaison optique (LT), caractérisé en ce que le terminal d'émission et le terminal de réception comportent respectivement un dispositif d'adaptation d'émission (DAe)
30 selon la revendication 11 et un dispositif d'adaptation de réception (DAr) selon la revendication 12.
35

1/7

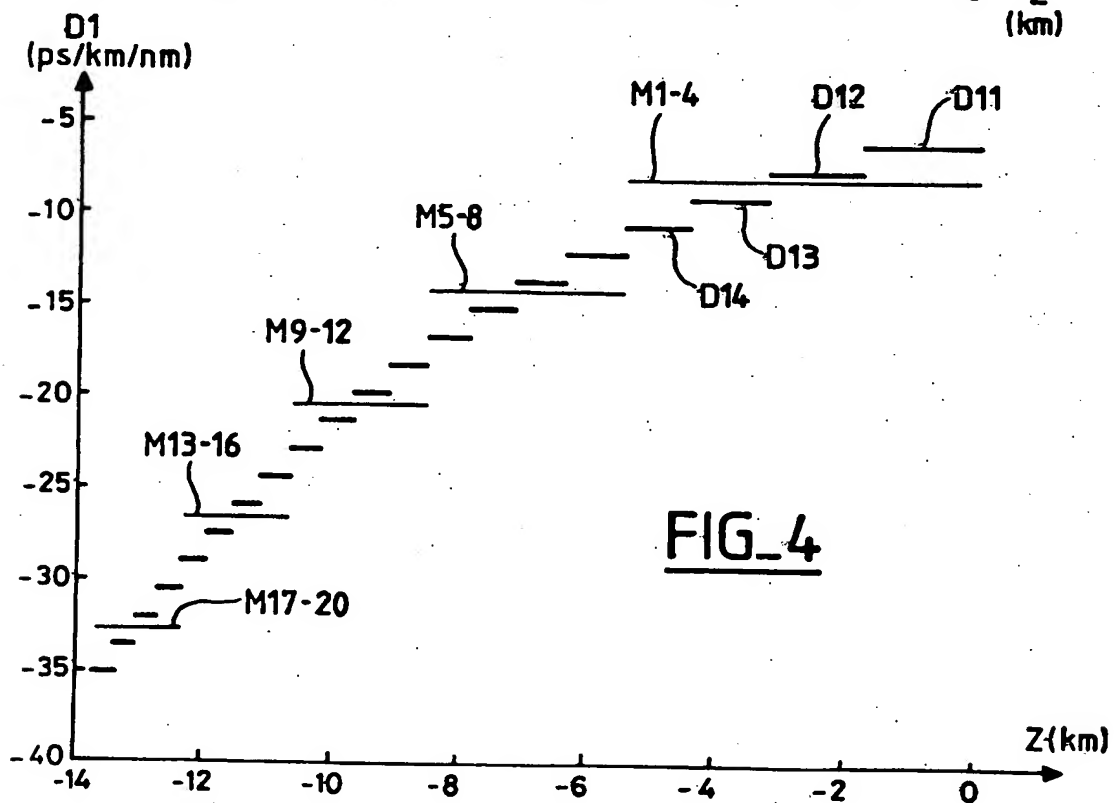
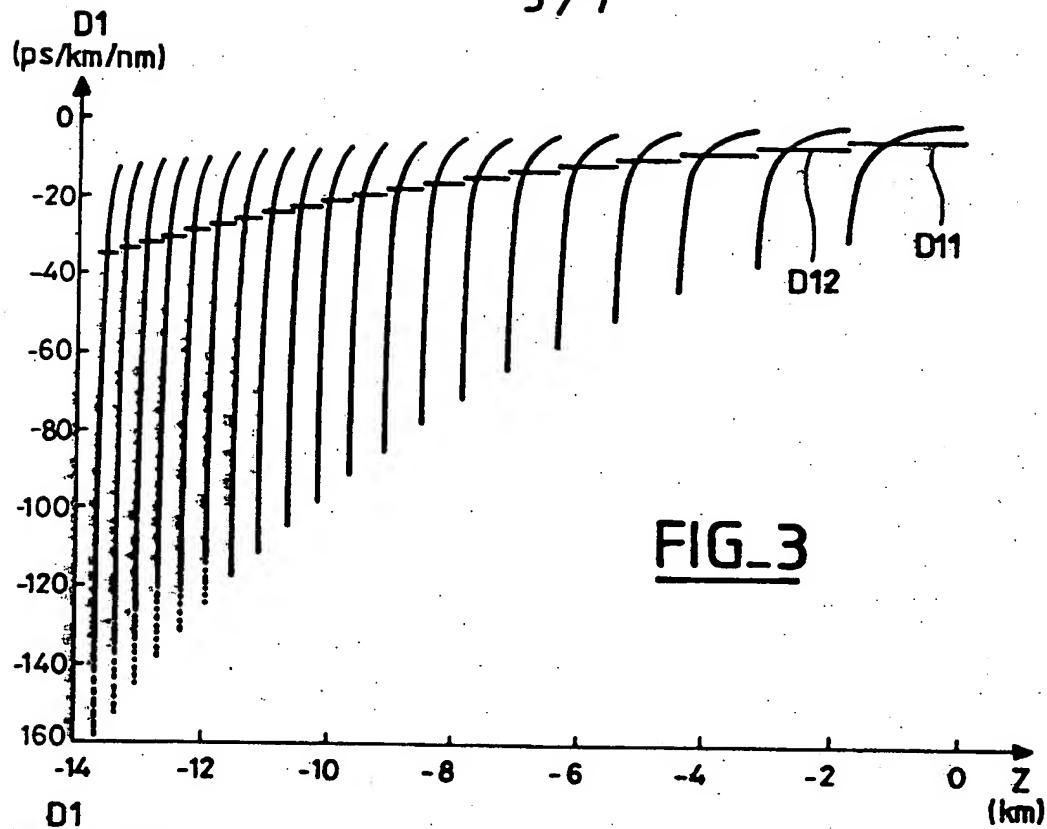
FIG. 1



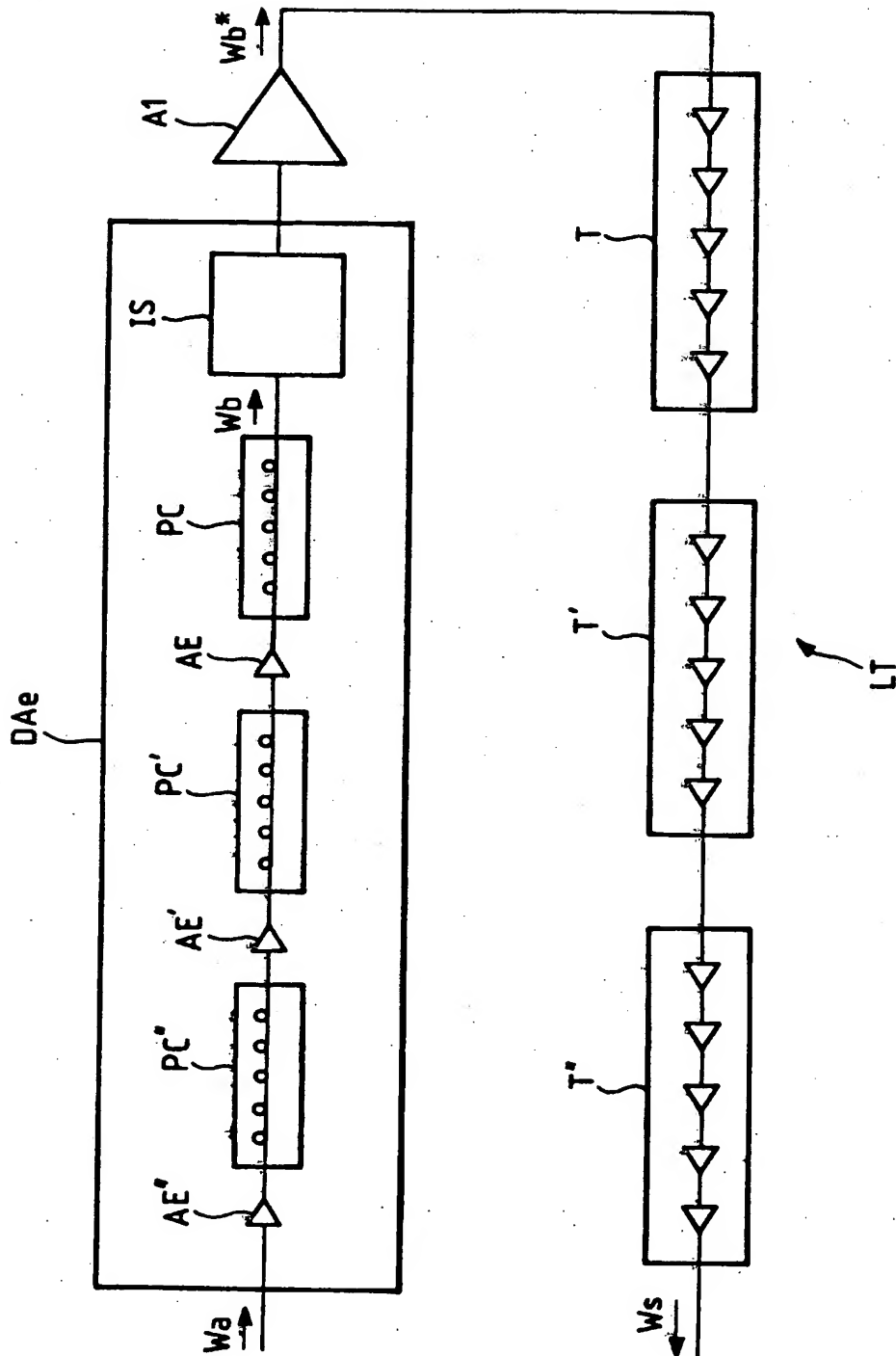
2 / 7



3 / 7



4/7



5/7

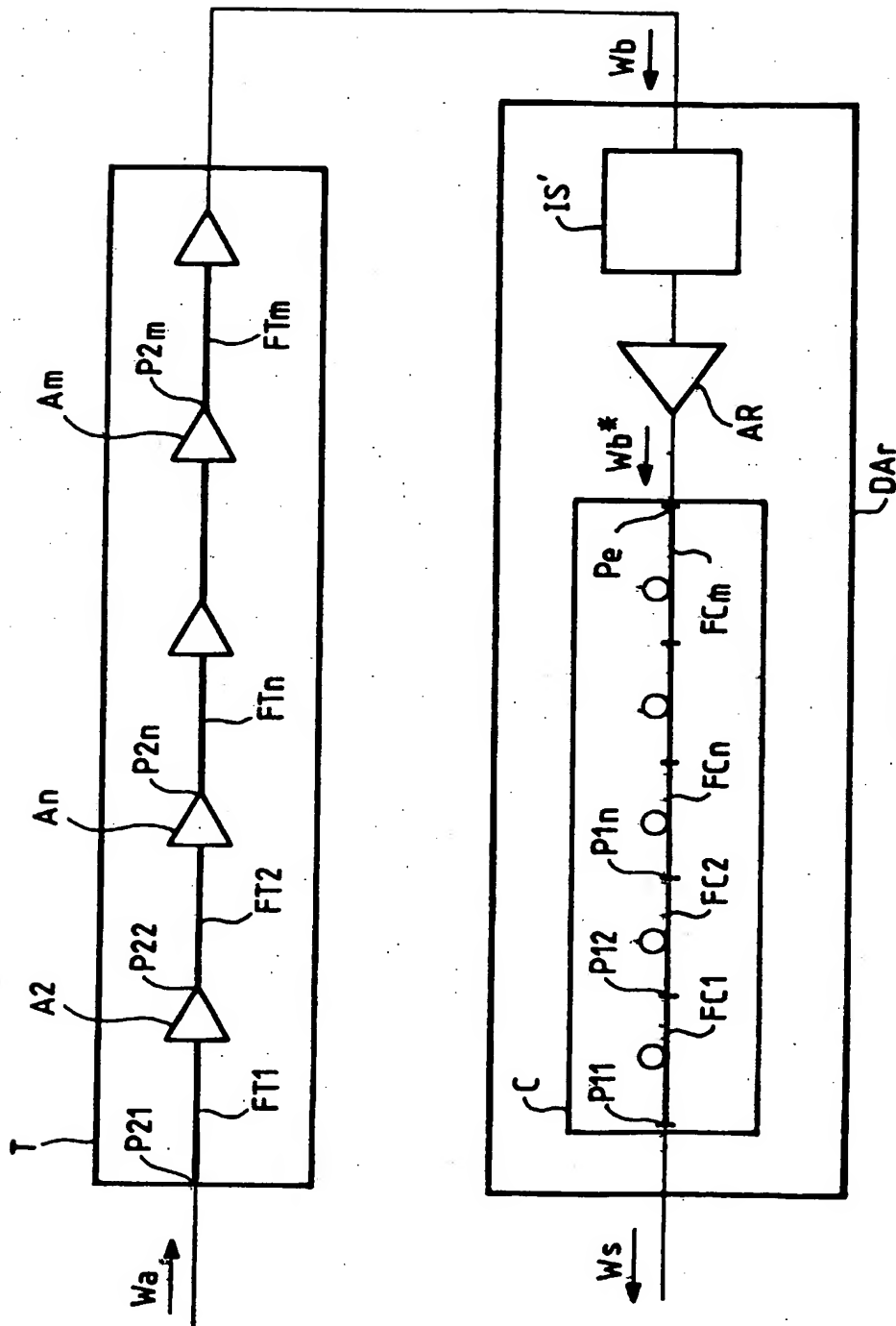
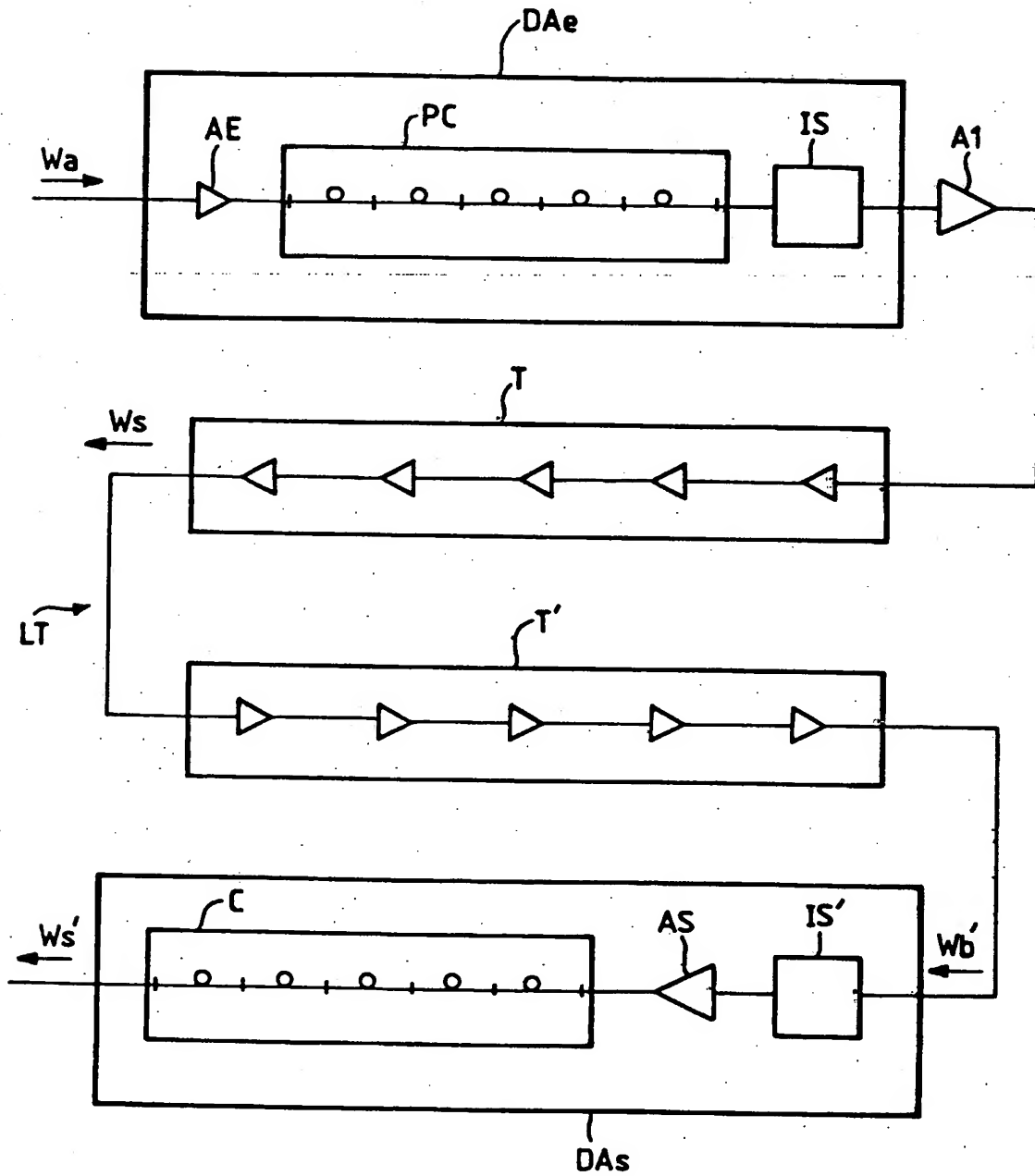
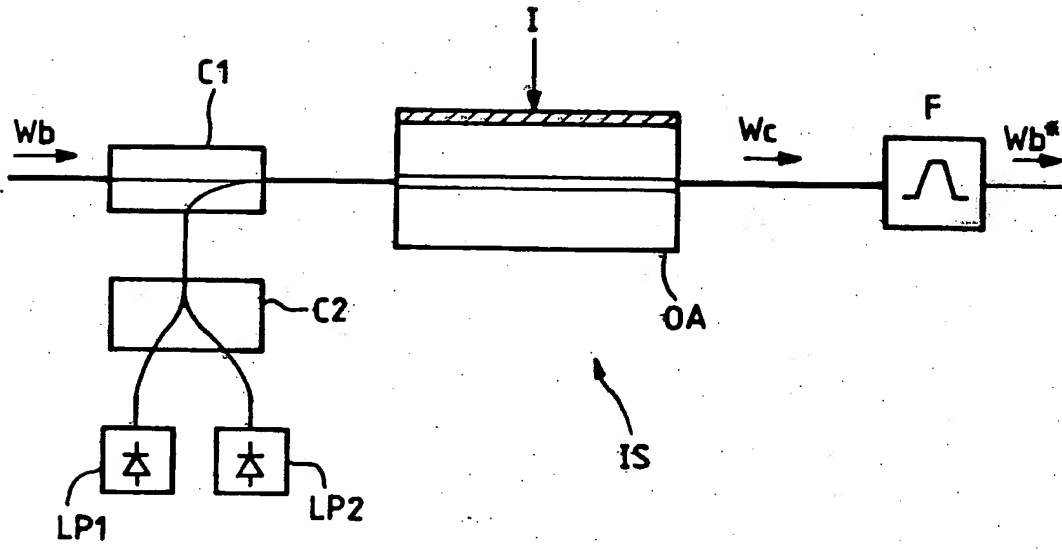


FIG-6

6/7

FIG. 7

FIG_8



REPUBLIQUE FRANÇAISE

2757720

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 537458
FR 9615635

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol. 14, no. 3, 1 Mars 1996, pages 243-248, XP000586110 WATANABE S ET AL: "EXACT COMPENSATION FOR BOTH CHROMATIC DISPERSION AND KERR EFFECT IN A TRANSMISSION FIBER USING OPTICAL PHASE CONJUGATION." * page 243, colonne de droite, alinéa 3; figures 1,2,7 * * page 245, colonne de droite, alinéa 2 - page 246, colonne de gauche, alinéa 2 * * page 247, colonne de droite, alinéa 2 - page 248, colonne de gauche, alinéa 2 *	1-13
A	EP 0 703 680 A (AT & T CORP) 27 Mars 1996 * abrégé; figures 1,2,7 * * colonne 5, ligne 17 - colonne 6, ligne 43 *	1,2,6,7, 11-13
A	EP 0 575 881 A (NIPPON ELECTRIC CO) 29 Décembre 1993 * abrégé; revendications 1-5; figure 5 *	1,2,6,7, 11-13
A	PROCEEDINGS OF THE LASERS AND ELECTRO-OPTICS SOCIETY ANNUAL MEETING (LEOS), BOSTON, OCT. 31 - NOV. 3, 1994, vol. 1, 31 Octobre 1994, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, page 194/195 XP000510760 TATHAM M C ET AL: "OVERCOMING FIBRE CHROMATIC DISPERSION IN HIGH BIT RATE TRANSMISSION" * page 194, alinéa 1; figure 1 *	1,6
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL. 6)
		H04B G02B
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
22 Août 1997		Goudelis, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 150 (01/91) (PCT)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.